

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 03 795.0

Anmeldetag: 31. Januar 2003

Anmelder/Inhaber: DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Traunreut/DE

Bezeichnung: Positionsmesseinrichtung

IPC: G 01 B 21/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

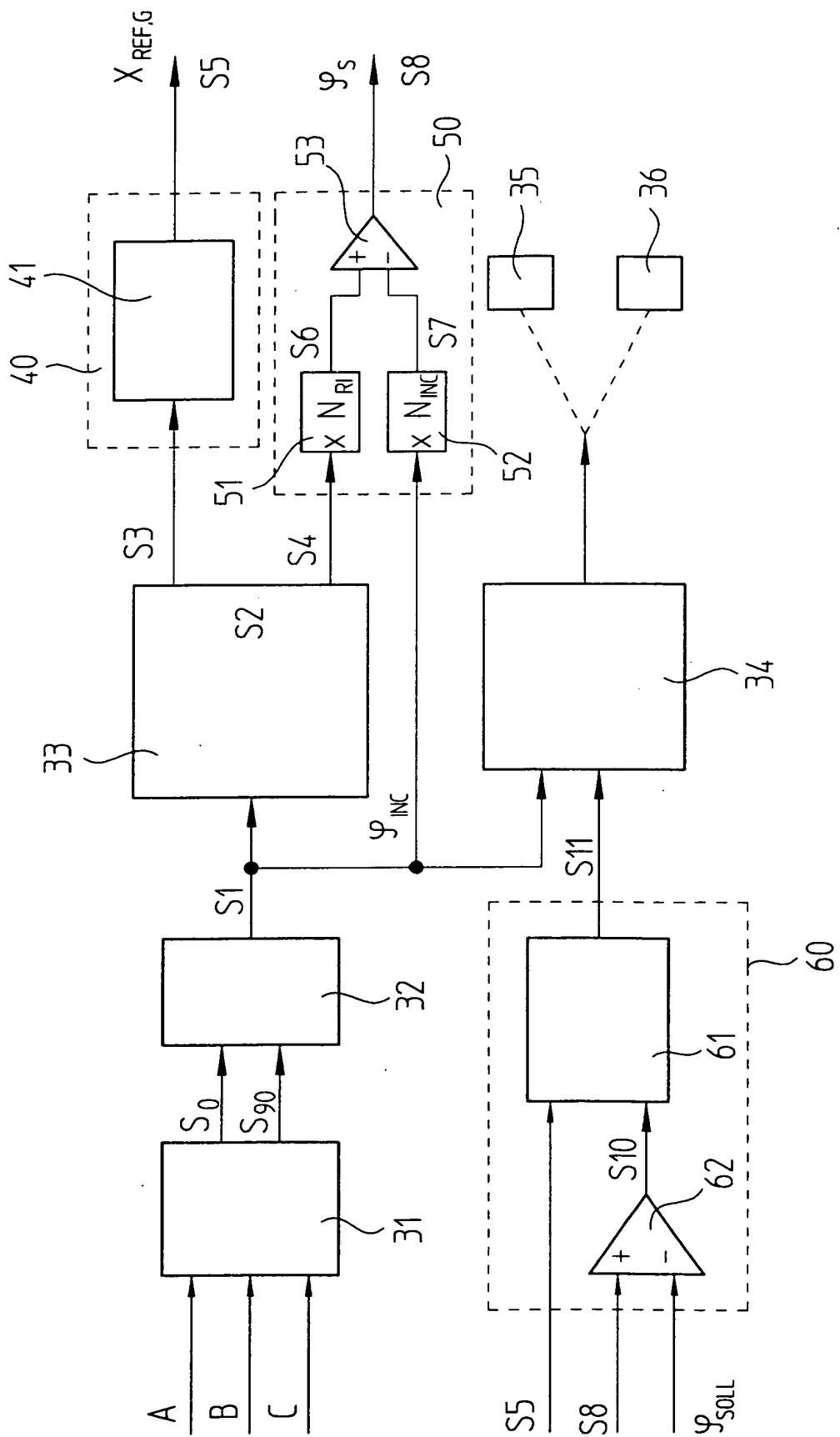

Wehner

Zusammenfassung

Positionsmesseinrichtung

=====

- Es wird eine Positionsmesseinrichtung angegeben, die einen Maßstab und eine relativ dazu bewegliche Abtasteinheit umfasst. Der Maßstab (10) weist eine Inkrementalteilungsspur mit einer definierten Inkremental-Teilungsperiode (TPM_{INC}) und an mindestens einer definierten Referenzposition (x_{REF}) ein Referenzmarkierungsfeld (M_{REF}) mit einer mittleren Referenzmarkierungs-Teilungsperiode ($TPM_{REF,m}$) auf, wobei sich die mittlere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode ($TPM_{REF,m}$) von der Inkremental-Teilungsperiode (TPM_{INC}) unterscheidet. Die Abtasteinheit umfasst mehrere Abtastelemente zur Erzeugung von Abtastsignalen, wobei als Abtastsignale zumindest zwei phasenverschobene Inkrementalsignale erzeugbar sind. Der Abtasteinheit sind erste Auswertemittel nachgeordnet, die geeignet sind zur Bestimmung einer Grob-Referenzposition aus dem Maximum der resultierenden Störung in den Abtastsignalen bei einer definierten Relativposition von Maßstab und Abtasteinheit. Ferner sind zweite Auswertemittel vorgesehen, die geeignet sind zur Bestimmung einer Schwebungssignalphase aus der Differenz eines ganzzahligen Vielfachen der Referenzimpulssignalphase und einem ganzzahligen Vielfachen der Inkrementalsignalphase. Zudem sind nachgeordnete dritte Auswertemittel vorgesehen, die geeignet sind, um aus der Grob-Referenzposition eine Schwebungsperiode eindeutig zu markieren und aus der Schwebungssignalphase bei Vorliegen einer definierten Phasenlage eine Fein-Referenzposition auszugeben (Figur 6).



Positionsmesseinrichtung

=====

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

- Bekannte Positionsmesseinrichtungen liefern neben Inkrementalsignalen bezüglich des Relativversatzes zweier zueinander beweglicher Teile in der Regel auch sogenannte Referenzimpulssignale. Über die Referenzimpulssignale kann bei einer definierten Relativposition der zueinander beweglichen Teile ein exakter Absolutbezug der Positionsmessung hergestellt werden. Zur Erzeugung der Referenzimpulssignale sind auf Seiten des Maßstabes der Positionsmesseinrichtung an ein oder mehreren Stellen Referenzmarkierungsfelder angeordnet. Die Abtasteinheit der Positionsmesseinrichtung umfasst u.a. mindestens eine Abtastplatte mit ein oder mehreren Abtastteilungen, über die bei der zu detektierenden Relativposition von Maßstab und Abtasteinheit ein entsprechendes Referenzimpulssignal erzeugbar ist.
- 5
- 10

Bezüglich der Anordnung der Referenzmarkierungsfelder auf dem Maßstab bzw. der zur Abtastung derselben nötigen Abtastteilungen auf Seiten der Abtasteinheit sind eine Reihe verschiedener Möglichkeiten bekannt.

- 5 So offenbart beispielsweise die US 4,263,506, die Referenzmarkierungsfelder auf dem Maßstab seitlich benachbart zur Teilungsspur mit der Inkrementalteilung anzuordnen.

10 Daneben ist es auch möglich, die Referenzmarkierungsfelder an mindestens einer Referenzposition unmittelbar in die Teilungsspur mit der Inkrementalteilung zu integrieren, wie dies etwa in der US 3,985,448 vorgeschlagen wird. Zu diesem Zweck können an der gewünschten Stelle des Maßstabes in der Inkrementalteilung z.B. ein oder mehrere Stege oder Striche der Inkrementalteilung weggelassen werden.

15 Weitere Varianten bezüglich der Integration von Referenzmarkierungsfeldern in die Spur mit der Inkrementalteilung sind ferner aus der DE 35 36 466 A1 und aus der US 4,866,269 bekannt. In diesen Druckschriften wird vorgeschlagen, in der Inkrementalteilung die Referenzmarkierungsfelder als aperiodische Strich- oder Stegfolgen auszubilden oder
20 aber Bereiche mit veränderten optischen Eigenschaften als Referenzmarkierungsfelder zu nutzen, die sich von der restlichen Inkrementalteilung unterscheiden.

25 Insbesondere im Fall von hochauflösenden optischen Positionsmesseinrichtungen, in denen die Abtastsignale basierend auf der Interferenz überlagerter Teilstrahlenbündel erzeugt werden, ergibt sich bei der Erzeugung von Referenzimpulssignalen die Anforderung, möglichst ebenfalls ebenfalls hochauflösende Referenzimpulssignale zu erzeugen.

30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Positionsmesseinrichtung anzugeben, mittels der neben hochauflösenden Inkrementalsignalen auch die Erzeugung hochauflösender Referenzimpulssignale möglich ist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Positionsmesseinrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1.

Vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung ergeben sich aus den Maßnahmen, die in den von Anspruch 1 abhängigen Patentansprüchen aufgeführt sind.

Erfindungsgemäß erfolgt nunmehr die Bestimmung der Referenzposition in mehreren Schritten. Hierbei wird zunächst über erste Auswertemittel eine
10 Grob-Referenzposition aus dem Maximum der resultierenden Störung in den Abtastsignalen bei einer definierten Relativposition von Maßstab und Abtasteinheit ermittelt. Über zweite Auswertemittel erfolgt die Bestimmung einer Schwebungssignalphase aus der Differenz eines ganzzahligen Vielfachen der Referenzimpulssignalphase und einem ganzzahligen Vielfachen
15 der Inkrementalsignalphase. Mittels dritter Auswertemittel wird schließlich aus der Grob-Referenzposition und der Schwebungssignalphase eine hochauflösende Fein-Referenzposition abgeleitet.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahmen sind somit über die abtast-
20 seitige Detektoranordnung ein oder mehrere phasenverschobene periodische Abtastsignale hoher Auflösung detektierbar, die im Bereich der Referenzposition eine erfassbare Störung aufweisen. Über die Detektion der an dieser Stelle gestörten Abtastsignale lässt sich erfindungsgemäß eine zusätzliche hochauflösende Absolutpositionsbestimmung vornehmen.

25 Die aus den Referenzimpulssignalen gewonnene Nullage bzw. Referenzposition lässt sich hierbei mit einer derartigen Genauigkeit bestimmen, die ausreichend ist, um eindeutig eine einzelne Inkrementalsignalperiode zu kennzeichnen. Die Reproduzierbarkeit der Positionsmesseinrichtung wird somit
30 allein auf die Reproduzierbarkeit der inkrementalen Positionsbestimmung zurückgeführt.

In Bezug auf die konkrete Ausbildung sowohl des Referenzmarkierungsfeldes auf dem Maßstab wie auch der Abtastplatte in der Abtasteinheit, d.h.

demzufolge in Bezug auf den konkreten Abtaststrahlengang, existieren eine Reihe von Möglichkeiten.

5 So ist es etwa möglich, das abgetastete Referenzmarkierungsfeld in die Inkrementalteilungsspur zu integrieren. Daneben kann aber auch eine Anordnung von ein oder mehreren, geeignet ausgebildeten Referenzmarkierungsfeldern neben der Inkrementalteilungsspur auf dem Maßstab angeordnet werden.

10 Detektionsseitig kann die Erfassung der resultierenden Abtastsignale derart vorgenommen werden, dass Detektorelemente zur gemeinsamen Detektion eines bzw. mehrerer phasenverschobener Abtastsignale vorgesehen werden, aus denen dann die Inkrementalsignalanteile und die Referenzimpuls-
15 signalanteile geeignet zu separieren sind. Alternativ hierzu ist aber auch möglich, separate Detektorelemente für die Erfassung der verschiedenen Abtastsignale in Form von Inkrementalsignalen bzw. Referenzimpulssignalen vorzusehen.

20 Des Weiteren können beispielsweise entlang der Messstrecke mehrere Referenzmarkierungsfelder vorgesehen werden; diese können hierbei etwa gleichbeabstandet oder aber abstandscodiert vorgesehen werden etc..

25 Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der beiliegenden Figuren.

Hierbei zeigt

30 Figur 1 eine schematisierte Darstellung des entfalteten Abtaststrahlenganges eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

Figur 2 eine Draufsicht auf den Maßstab aus der Positionsmesseinrichtung aus Figur 1;

- Figur 3a-3b je eine Darstellung zur beispielhaften Erläuterung der Ausgestaltung eines Referenzmarkierungsfeldes auf dem Maßstab;
- 5 Figur 4 eine Draufsicht auf die Abtastplatte aus der Positionsmesseinrichtung aus Figur 1;
- Figur 5 eine Darstellung eines einzelnen resultierenden Abtastsignales, das mit der Positionsmesseinrichtung aus Figur 1 erzeugbar ist;
- 10
- Figur 6 ein Blockschaltbild zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Erzeugung eines hochauflösenden Referenzimpulssignales;
- 15 Figur 7a –7e jeweils jeweils ein Signaldiagramm zur Erläuterung des Blockschaltbildes in Figur 6;

In Figur 1 ist in schematischer Form der entfaltete Abtaststrahlengang eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung dargestellt. Es sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es neben dem erläuterten Beispiel auch alternative Abtastkonfigurationen bzw. Abtaststrahlengänge gibt, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung realisierbar sind.

25 Anhand von Figur 1 sei nachfolgend ein sog. interferenzieller Mehrgittergeber erläutert, auf dessen Basis die vorliegende Erfindung realisierbar ist. Als relativ zueinander in Messrichtung x bewegliche Komponenten umfasst die Positionsmesseinrichtung in bekannter Art und Weise einen Maßstab 10 sowie eine Abtasteinheit, die in einem - nicht dargestellten - geeigneten Gehäuse eine Reihe von Abtastelementen zur Erzeugung von Abtastsignalen enthält. Im wesentlichen umfasst die Abtasteinheit hierbei eine Lichtquelle 21, mindestens eine Abtastplatte 22 mit ein oder mehreren Abtasteilungen sowie eine nur schematisch angedeutete optoelektronische Detektoranordnung 23, die ein oder mehrere Detektorelemente umfasst.

30

In Figur 1 ist der entfaltete Abtaststrahlengang einer im Auflicht betriebenen Variante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung schematisiert dargestellt. Dies bedeutet, dass die von der Lichtquelle 21 emittierten Strahlenbündel S zunächst ein erstes Mal auf den reflektierend ausgelegten Maßstab 10 auftreffen und sich daraufhin als räumlich separierte Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} , REF_{+1} , REF_{-1} in Richtung der Abtastplatte 22 bzw. der darauf angeordneten Abtastteilungen ausbreiten. Im Fall des bevorzugten Auflicht-Systems erfolgt dies durch Beugung in Richtung der ± 1 . Beugungsordnungen am Maßstab 10. An der Abtastplatte 22 werden die Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} , REF_{+1} , REF_{-1} wiederum in die ± 1 . Ordnungen gebeugt, so dass sie sich an der Position x_{REF} am Maßstab 10 wieder vereinigen. Dort werden sie erneut in ± 1 . Ordnungen gebeugt und propagieren somit als vereinigt Strahlenbündel D in Richtung der Detektoranordnung 23. Im Strahlenbündel D, das von der Detektoranordnung 23 erfasst wird, sind die Informationen bzgl. einer resultierenden Verschiebung von Maßstab 10 und Abtasteinheit in Form der verschiebungsabhängig miteinander interferierenden Teilstrahlenbündel enthalten. Zu den mittels der Detektoranordnung 23 erfassbaren Informationen in Form eines intensitätsmodulierten Abtastsignals gehören hierbei sowohl Informationen bzgl. der Relativverschiebung wie auch bzgl. einer Absolutposition x_{REF} entlang der Messstrecke. Die Detektion sowohl des Inkrementalsignals wie auch des mindestens einen Referenzimpulssignals erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel demzufolge über die gemeinsame Detektoranordnung 23.

Grundsätzlich wäre es im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch möglich, getrennte Detektoranordnungen für die Erfassung der Inkremental- und Referenzimpulssignale einzusetzen.

Üblicherweise werden in inkrementalen Positionsmesseinrichtungen mehrere phasenverschobene Abtastsignale erzeugt, die dann in bekannter Art und Weise weiterverarbeitet werden. Zur Erzeugung der phasenverschobenen Abtastsignale sind bzgl. des Strahlenbündels D weitere abtastseitige Maßnahmen erforderlich, die dem einschlägigen Fachmann geläufig sind und deshalb dieser Stelle nicht weiter erläutert werden. Ergänzend sei in

diesem Zusammenhang lediglich auf die WO 02/23131 der Anmelderin hingewiesen.

In Figur 1 sind aus Gründen der besseren Darstellbarkeit durchwegs transmittierende Teilungsstrukturen auf Seiten des Maßstabes 10 sowie der Abtastplatte 22 dargestellt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Maßstab 10 wie bereits erläutert als reflektierende Teilungsstruktur in Form eines Reflexions-Phasengitters ausgebildet, d.h. im Gegensatz zur Darstellung in Figur 1 ist letztlich nur einziger, zweimal beaufschlagter Maßstab 10 vorhanden, der in Reflexion betrieben wird. Da in einem derartigen System von der Abtastplatte 22 in Richtung des Maßstabes 10 gebeugte Teilstrahlenbündel erforderlich sind, kann in einer möglichen Variante die Abtastplatte 22 ebenfalls reflektierend ausgelegt werden. In einer hierzu alternativen Variante werden auf Seiten der Abtasteinheit zwei im Durchlicht verwendete, identisch ausgebildete Abtastplatten 22 eingesetzt, zwischen denen ein geeignetes Umlenkprisma angeordnet ist, über das eine Umlenkung der aufgespaltenen Strahlenbündel in Richtung der zweiten Abtastplatte bzw. des Maßstabes 10 erfolgt. Im Fall einer derartigen Variante liegt demzufolge strenggenommen ein Viergittergeber vor, bei dem das erste und das vierte durchlaufene Gitter dem in Reflexion genutzten Maßstab 10 entsprechen und das zweite und dritte Gitter den jeweils identisch ausgebildeten Abtastplatten 22 entspricht, zwischen denen das Umlenkprisma angeordnet ist. In Bezug auf die letztgenannte Variante und weitere Details eines derartigen Abtaststrahlenganges sei an dieser Stelle ausdrücklich auf die WO 02/23131 der Anmelderin verwiesen.

Nachfolgend sei anhand der Figuren 1 - 4 detailliert die Erzeugung der Abtastsignale bzw. Inkremental- und Referenzimpulssignale mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung erläutert. Die Figuren 2 und 4 zeigen jeweils eine stark schematisierte Ansicht der auf dem Maßstab 10 bzw. auf der Abtastplatte 22 aus Figur 1 vorhandenen Strukturen.

In Figur 2 ist eine Teil-Draufsicht auf den Maßstab 10 dargestellt, in der die Inkrementalteilungsspur erkennbar ist, die aus Inkremental-Bereichen M_{INC}

mit einer definierten Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} besteht und aus deren Abtastung ein oder mehrere Inkrementalsignale A, B, C resultieren. An der definiert vorgegebenen Referenzposition x_{REF} ist zwischen zwei Inkremental-Bereichen M_{INC} ein Referenzmarkierungsfeld M_{REF} angeordnet
5 und dient an dieser Stelle zur Erzeugung eines Referenzimpulssignals Z, um auf diese Art und Weise bei der Positionsbestimmung einen eindeutigen Absolutbezug herzustellen.

In den Inkremental-Bereichen M_{INC} sind Teilbereiche 11.1, 11.2 mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften periodisch mit der Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} angeordnet. Im Fall einer Maßstab-Ausbildung als Reflexions-Phasengitter handelt es sich beispielsweise um alternierend angeordnete Teilbereiche 11.1, 11.2, die eine unterschiedliche Phasenverschiebung für die gebeugten Strahlenbündel zur Folge haben. In einer möglichen
10 Ausführungsform beträgt die Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} beispielsweise $TPM_{INC} = 2\mu m$. Aus der Abtastung der Inkremental-Bereiche M_{INC} resultiert in bekannter Art und Weise mindestens ein hochauflösendes periodisches Inkrementalsignal mit der Inkrementalsignalperiode SP_{INC} , wie dies etwa in der bereits oben erwähnten WO 02/23131 offenbart ist. Im Fall einer
15 gewählten Inkremental-Teilungsperiode $TPM_{INC} = 2\mu m$ ergibt sich dergestalt etwa eine Inkrementalsignalperiode $SP_{INC} = 0.5\mu m$. Vorzugsweise werden auf diese Art und Weise zwei oder mehr Inkrementalsignale erzeugt, die einen definierten Phasenversatz zueinander aufweisen, wobei im Fall von
20 zwei bzw. vier Inkrementalsignalen ein Phasenversatz von 90° resultiert, während im Fall von drei Inkrementalsignalen ein Phasenversatz von jeweils 120° zueinander vorgesehen ist.

Unmittelbar in die Inkrementalteilungsspur integriert ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel an der Referenzposition x_{REF} ein Referenzmarkierungsfeld M_{REF} angeordnet, das ebenfalls aus einer in Messrichtung x alternierenden Anordnung von Teilbereichen mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften besteht. Dessen Teilungsstruktur unterscheidet sich erfindungsgemäß in definierter Art und Weise von der periodischen Teilungsstruktur in den Inkremental-Bereichen M_{INC} , um dergestalt an dieser Stelle
30

ein detektierbares Referenzimpulssignal zu erzeugen. In Messrichtung x beträgt die Ausdehnung d_{REF} des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} in einer konkreten Ausführungsform typischerweise $d_{\text{REF}} = 600\mu\text{m}$.

- 5 Die Dimensionierung bzw. Ausgestaltung der Teilungsstruktur im Referenzmarkierungsfeld M_{REF} unterliegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung nunmehr bestimmten Überlegungen. So wird diese dergestalt gewählt bzw. dimensioniert, dass im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} vorteil-
- 10 Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $\text{TPM}_{\text{REF},m}$ bezeichnet sei. Die Wahl der Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $\text{TPM}_{\text{REF},m}$ erfolgt erfindungsge-
- 15 markierungsfeld neben der mittleren Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $\text{TPM}_{\text{REF},m}$ des weiteren noch eine zweite Periodizität auf, nämlich die Periodizität der Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} .

- Das Vorsehen der beiden Periodizitäten in diesem Bereich ist grundsätzlich
- 20 jedoch nicht erfindungswesentlich, sondern wurde lediglich deshalb im vorliegenden Ausführungsbeispiel gewählt, da keine getrennten Detektorelemente zur Erfassung von Inkrementalsignal und Referenzimpulssignal vorgesehen sind. Es ist daher wünschenswert, dass im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes ein möglichst gering gestörtes Inkrementalsignal vorliegt,
- 25 d.h. dass in diesem Bereich auf jeden Fall auch eine inkrementale Positionsinformation verfügbar ist. Grundsätzlich würde es ohne diese Anforderung jedoch ausreichen, im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes lediglich die von der Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} abweichende Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $\text{TPM}_{\text{REF},m}$ vorzusehen.

30

Ausgangsseitig resultiert auf Seiten der Abtasteinheit im vorliegenden Ausführungsbeispiel mindestens ein periodisches Inkrementalsignal, das im Bereich der Referenzposition x_{REF} bzw. im Bereich des Referenzmarkierungs-

feldes M_{REF} eine Störung aufweist, die als hochauflösendes Referenzimpulssignal aus dem bzw. den periodischen Inkrementalsignalen extrahierbar ist.

Für Strahlenbündel S , die auf das Referenzmarkierungsfeld M_{REF} einfallen,
5 ergeben sich im räumlichen Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF}
des Maßstabes 10 demzufolge in diesem Beispiel unterschiedliche räumliche
Ablenkwirkungen aufgrund der dort vorhandenen, mindestens zwei
unterschiedlichen Teilungsperioden TPM_{INC} und $TPM_{REF,m}$. In einer möglichen
Ausführungsform wird beispielsweise die mittlere Referenzmarkie-
10 rungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ geringfügig unterschiedlich von der dop-
pelten Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} gewählt; grundsätzlich gibt es
darüber hinaus jedoch auch vielfältigste andere realisierbare Verhältnisse für
die verschiedenen Teilungsperioden TPM_{INC} und $TPM_{REF,m}$, sofern grund-
sätzlich mehr als nur die Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ im
15 entsprechenden Referenzmarkierungsfeld M_{REF} vorgesehen werden soll.

In vielen Fällen kann zur Trennung der Beugungsordnungen des Inkremen-
talsignal-Abtaststrahlenganges und des Referenzimpulssignal- Abtaststrah-
lenganges eine Grundperiodizität bzw. mittlere Referenzmarkierungs-Teil-
20 lungsperiode $TPM_{REF,m}$ im Referenzmarkierungsfeld M_{REF} zu wählen, die
deutlich von der Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} abweicht. Die Periodi-
zitäten werden stets so bestimmt, dass im detektierten Abtastsignal ein
Schwebungssignalanteil mit einer Schwebungssignalperiode Λ resultiert. Die
Schwebungssignalperiode Λ ergibt sich hierbei aus der folgenden Bezie-
25 hung:

$$1/\Lambda = | n/SP_{INC} - m/SP_{REF,m} | \quad (Gl. 1)$$

mit

30 SP_{INC} : Inkrementalsignalperiode

$SP_{REF,m}$: mittlere Referenzimpulssignalperiode

$n, m = 1, 2, \dots$; n, m haben keinen gemeinsamen Teiler

Vorteilhafterweise werden die verschiedenen Periodizitäten SP_{INC} , $SP_{REF,m}$ so gewählt, dass für die resultierende Schwebungssignalperiode Λ in etwa gilt:

5
$$\Lambda \approx (5 - 100) * SP_{INC} \quad (Gl. 2)$$

In einem konkreten Beispiel wird die Einhaltung dieser Bedingung gewährleistet mit $TPM_{INC} = 2\mu m$ (entspricht $SP_{INC} = 0.5\mu m$), $TPM_{REF,m} = 4,55\mu m$ (entspricht $SP_{REF,m} = 1.1375\mu m$), $n = 1$, $m = 2$, woraus sich eine Schwebungssignalperiode $\Lambda = 4,1\mu m$ ergibt.

10

Detailliert wird auf die Bedeutung des resultierenden Schwebungssignales für die vorliegende Erfindung im weiteren Verlauf der Beschreibung eingegangen.

15

Anhand der Figuren 3a - 3c sei nachfolgend prinzipiell erläutert, wie beispielsweise die Teilungsstruktur im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} dimensioniert werden kann. In den Figuren 3a - 3c sind jeweils noch zu erläuternde Gitterstrukturen, bestehend aus Abfolgen von Stegen und Lücken in Seitenansichten inklusive zugehörigen Sinusfunktionen dargestellt, die die Gitterphase an der jeweiligen Position bzw. die Position der Stegkanten der Gitter charakterisieren.

20

Figur 3a zeigt eine erste Gitterstruktur mit einer ersten Teilungsperiode, die beispielsweise der vorgesehenen Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} auf einem Maßstab entspricht.

25

In Figur 3b ist eine zweite Gitterstruktur mit einer zweiten Teilungsperiode dargestellt, die einer gewünschten mittleren Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ entspricht. Im vorliegenden Beispiel erfolgt die Wahl des Verhältnisses für die Referenzmarkierungs- und Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} , $TPM_{REF,m}$ demzufolge wie vorab erläutert, d.h. die mittlere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ wird geringfügig unterschiedlich von der doppelten Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} gewählt.

30

Figur 3c zeigt schließlich die resultierende additive Überlagerung der beiden Gitterstrukturen aus den Figuren 3a und 3b. Die Überlagerungsstruktur enthält demzufolge sowohl die erste und die zweite Teilungsperiode TPM_{INC} , $TPM_{REF,m}$, respektive die Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} als auch die Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$. Eine derartige, resultierende Gitterstruktur kann dann in einem Referenzmarkierungsfeld M_{REF} auf dem Maßstab angeordnet werden, wie dies oben in Figur 2 erläutert wurde. In den benachbarten Inkrementalbereichen M_{INC} der Inkrementalteilungsspur ist die Gitterstruktur gemäß Figur 3a ausgebildet.

10

Diese Erläuterung der Prinzipien für die Ausgestaltung des Referenzmarkierungsfeldes auf dem Maßstab ist selbstverständlich nur beispielhaft zu verstehen. Es existieren im Rahmen der vorliegenden Erfindung demzufolge vielfältige alternative Ausgestaltungsmöglichkeiten für die jeweilige Ausbildung des Referenzmarkierungsfeldes.

15

In der Prinzipdarstellung der Figur 1 ist erkennbar, wie sich eine derartige Ausgestaltung der Teilungsstruktur im vorliegenden Ausführungsbeispiel im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} auf den Abtaststrahlengang auswirkt. So erfolgt in diesem Bereich aufgrund der mindestens zwei vorhandenen Teilungsperioden TPM_{INC} und $TPM_{REF,m}$ eine Aufspaltung des von der Lichtquelle 21 her einfallenden Strahlenbündels S in die Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} , REF_{+1} , REF_{-1} , die sich in mindestens zwei unterschiedlichen Raumrichtungen $+RR1$, $-RR1$, $+RR2$, $-RR2$ weiter ausbreiten. Im vorliegenden Beispiel resultiert eine Aufspaltung des einfallenden Strahlenbündels S in insgesamt vier Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} , REF_{+1} , REF_{-1} . Hierbei stellen die Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} die aufgrund der gewählten Inkremental-Teilungsperiode TPM_{INC} in die Raumrichtungen $+RR1$ und $-RR1$ abgelenkten ± 1 . Beugungsordnungen des einfallenden Strahlenbündels S dar, die Teilstrahlenbündel REF_{+1} , REF_{-1} hingegen die aufgrund der Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ in die Raumrichtungen $+RR2$ und $-RR2$ abgelenkten ± 1 . Beugungsordnungen des einfallenden Strahlenbündels S . Während die Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} dabei abtastseitig zur Erzeugung des mindestens einen Inkrementalsignals beitragen, ver-

20

25

30

ursachen die lediglich im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} auftretenden Teilstrahlenbündel REF_{+1} , REF_{-1} eine definierte Störung des Inkrementalsignals an dieser Stelle, die sich als Referenzimpulssignal aus dem mindestens einen Inkrementalsignal extrahieren lässt. Im konkreten
5 Beispiel erfolgt im übrigen die Erzeugung von drei um 120° zueinander phasenverschobenen Inkrementalsignalen, nachfolgend als Inkrementalsignale A, B, C bezeichnet.

Neben den erläuterten Maßnahmen auf der Maßstabseite im Bereich des
10 Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch auf der Seite der Abtasteinheit und der Abtastelemente, d.h. insbesondere auf Seite der Abtastplatte 22 bestimmte Maßnahmen erforderlich. Wie hierbei etwa ebenfalls aus der Figur 1 ersichtlich ist, besitzt die Abtastplatte 22 mindestens eine Teilungsstruktur, die dergestalt ausgebildet ist,
15 dass die darauf aus den verschiedenen Raumrichtungen $+RR1$, $-RR1$, $+RR2$, $-RR2$ einfallenden Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} , REF_{+1} , REF_{-1} wieder in Richtung des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} auf dem Maßstab 10 zurück umgelenkt werden. Vom Maßstab 10 wiederum propagiert ein Strahlenbündel D in Richtung der Detektoranordnung 23. Im Strahlenbündel D
20 sind die verschiebungsabhängigen Informationen bzgl. der Inkrementalsignale A, B, C wie auch des Referenzimpulssignals in Form der interferierenden Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} , REF_{+1} , REF_{-1} wie oben erläutert enthalten.

Figur 4 zeigt eine Draufsicht auf eine Ausführungsvariante einer geeigneten
25 Abtastplatte 22, die in einer Vorrichtung mit einem Abtaststrahlengang gemäß Figur 1 einsetzbar ist. Wie aus der Darstellung in Figur 4 ersichtlich ist, besitzt die Abtastplatte 22 in diesem Beispiel Abtastteilungen in Form von räumlich voneinander getrennt angeordneten Inkrementalabtastgittern AG_{INC} und Referenzabtastgittern AG_{REF} . Die verschiedenen Abtastgitter AG_{INC} ,
30 AG_{REF} bestehen wiederum aus einer jeweils in Messrichtung x alternierend angeordneten Abfolge von Teilbereichen mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften; im Fall einer im Durchlicht eingesetzten Abtastplatte 22 kann es sich etwa um ein bekanntes Durchlicht-Phasengitter handeln, bei der al-

ternierend Teilbereiche mit unterschiedlicher phasenschiebender Wirkung angeordnet sind.

Wie aus Figur 1 ersichtlich ist, treffen demzufolge die vom Maßstab 10 im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} weg propagierenden Teilstrahlenbündel INC_{+1} , INC_{-1} auf die beiden außen auf der Abtastplatte 22 angeordneten Inkrementalabtastgitter AG_{INC} ; die beiden Teilstrahlenbündel REF_{+1} , REF_{-1} hingegen gelangen auf die beiden mittig angeordneten Referenzabtastgitter AG_{REF} . Die jeweiligen Teilungsperioden $TPAG_{INC}$, $TPAG_{REF}$ der Inkrementalabtastgitter AG_{INC} und der Referenzabtastgitter AG_{REF} sind derart gewählt bzw. aufeinander abgestimmt, dass - wie aus Figur 1 ersichtlich - eine Umlenkung der Teilstrahlenbündel aus den verschiedenen Abtastgitterbereichen zurück in Richtung des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} auf dem Maßstab 10 erfolgt. Im konkreten Beispiel der Figur 4 bedeutet dies etwa, dass die Inkrementalabtastgitter-Teilungsperiode $TPAG_{INC}$ kleiner als die Referenzabtastgitter-Teilungsperiode $TPAG_{REF}$ zu wählen ist, um der erwähnten Anforderung zu genügen.

Nach der zweiten Beugung der Teilstrahlenbündel am Maßstab 10 liegt ein wiedervereinigtes Strahlenbündel D vor, das sich in Richtung der Detektoranordnung ausbreitet und mit den verschiedenen, miteinander interferierenden Teilstrahlenbündeln sowohl die Informationen hinsichtlich der Relativverschiebung wie auch bzgl. einer definierten Referenzposition x_{REF} beinhaltet. Die Detektion des resultierenden Abtastsignals erfolgt mittels der schematisch angedeuteten Detektoranordnung 23.

Die Abtastsignale, die aus einer derartigen Abtastung im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes M_{REF} im vorliegenden Beispiel resultieren, sind in Figur 5 dargestellt, wobei in Figur 5 lediglich eines der phasenverschobenen Inkrementalsignale veranschaulicht ist. In den detektierten Abtastsignalen repräsentiert der hochfrequente Signalanteil das hochauflösende Inkrementalsignal mit der Signalperiode SP_{INC} , während im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes an der Referenzposition x_{REF} dem Abtastsignal eine Störung überlagert ist, die zur Erzeugung eines hochauflösenden Referenzimpuls-

signals aus dem Abtastsignal extrahierbar ist; letzteres wird nachfolgend noch im Detail erläutert.

Im resultierenden Abtastsignal zeigt sich demzufolge aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahmen der Einfluss des Referenzmarkierungsfeldes auf dem Maßstab lediglich in einem sehr begrenzten räumlichen Bereich. Dieser Bereich wird zunächst durch die Abmessungen des Referenzmarkierungsfeldes bestimmt. Besonders vorteilhaft sind hierbei sog. gechirpte Teilungsstrukturen, wie sie in der nachfolgenden Beschreibung noch näher erläutert werden. Sie ermöglichen wesentlich schmalere, räumliche Bereiche, in denen ein Referenzimpulssignal detektierbar ist. Typischerweise lassen sich Bereich von $40\mu\text{m}$ erreichen, wenn die oben angegebenen Größenordnungen für die verschiedenen Teilungsperioden etc. eingehalten werden. Es ist demzufolge möglich, trotz einer deutlich größeren räumlichen Ausdehnung des Referenzmarkierungsfeldes auf dem Maßstab ein Referenzimpulssignal geringer Breite, d.h. mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung zu erzeugen. Die erreichbare hohe Auflösung bei der Erzeugung des Referenzimpulssignals gestattet insbesondere die Synchronisation mit den ebenfalls hochauflösenden Inkrementalsignalen.

20

Um beim Einsatz der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung zudem eine hinreichende Unempfindlichkeit gegenüber eventuellen Verkipnungen der Abtasteinheit gegenüber dem Maßstab zu gewährleisten, erweist es sich ferner als vorteilhaft, wenn die Größe des Referenzmarkierungsfeldes so gewählt wird, dass diese etwa der Größe des Querschnitts des von der Lichtquelle emittierten Strahlenbündels entspricht.

25

Anhand der Figur 6 und 7a – 7e sei nunmehr nachfolgend an einem Beispiel erläutert, wie die erfindungsgemäße Erzeugung eines hochauflösenden Referenzimpulssignales aus den resultierenden Abtastsignalen erfolgt.

30

Dargestellt ist zu diesem Zweck in Figur 6 ein stark schematisiertes Blockschaltbild zur Erläuterung der Signalverarbeitung, die nach der Erzeugung der Abtastsignale A, B, C in der Abtasteinheit erfolgt. Figur 6 stellt strengge-

nommen keine Signalverarbeitungsanordnung dar, sondern dient zur Erläuterung des Algorithmus, über den erfindungsgemäß die hochauflösende Referenzimpulsinformation erzeugt wird. Die verschiedenen Funktionsblöcke und -einheiten müssen demzufolge nicht unbedingt hardwaremäßig ausgebildet sein. Grundsätzlich am vorteilhaftesten erweist es sich, wenn eine

5 derartige Signalverarbeitung, wie sie nachfolgend erläutert wird, in einem digitalen Rechenwerk in Form von ASICs, FPGAs und/oder Signalprozessoren vorgenommen wird.

10 Die im vorliegenden Beispiel um 120° phasenverschobenen Abtastsignale A, B, C werden zunächst einer Transformationseinheit 31 zugeführt, in der diese Signale A, B, C in bekannter Art und Weise in zwei um 90° phasenversetzte Inkrementalsignale S_0 , S_{90} umgewandelt werden, die im Bereich der Referenzposition x_{REF} wie oben erläutert eine aufgeprägte Störung auf-

15 weisen.

Bevor anschließend im Detail auf die weiteren Funktionsblöcke im Rahmen der durchgeführten Signalverarbeitung eingegangen wird, sei zunächst das grundlegende Prinzip der erfindungsgemäßen Erzeugung einer hochauflö-

20 sendenden Referenzimpulsinformation aus den erzeugten Abtastsignalen erläutert. Im wesentlichen ist hierbei ein mehrschrittiges Vorgehen zum Extrahieren bzw. Generieren dieser Informationen vorgesehen. Hierzu sind im Rahmen der erfolgenden Signalverarbeitung erste Auswertemittel 40 vorgesehen, die geeignet sind zur Bestimmung einer Grob-Referenzposition $x_{REF,G}$

25 aus dem Maximum der resultierenden Störung in den Abtastsignalen bei einer definierten Relativposition von Maßstab 10 und Abtasteinheit 20. Ferner sind zweite Auswertemittel 50 erforderlich, die geeignet sind zur Bestimmung einer Schwebungssignalphase aus der Differenz eines ganzzahligen Vielfachen der Referenzimpulssignalphase und einem ganzzahligen

30 Vielfachen der Inkrementalsignalphase. Des weiteren sind dritte Auswertemittel 60 vorgesehen, die den ersten und zweiten Auswertemitteln 40, 50 nachgeordnet sind und welche geeignet sind, um aus der Grob-Referenzposition $x_{REF,G}$ eine Schwebungssignalperiode eindeutig zu markieren und aus der Schwebungssignalphase bei Vorliegen einer definierten Phasenlage ein

Signal bzw. eine Information bzgl. einer Fein-Referenzposition $x_{REF,F}$ auszugeben.

Nachfolgend sei nunmehr die Weiterverarbeitung der phasenversetzten Inkrementalsignale S_0 , S_{90} über die verschiedenen Funktionsblöcke im Rahmen der erfolgenden Signalverarbeitung im Detail erläutert.

Die Inkrementalsignale S_0 , S_{90} werden zunächst einer Interpolator- und Zählereinheit 32 zugeführt, die diese Signale S_0 , S_{90} in bekannter Art und Weise verarbeitet. Das heißt, es erfolgt die Unterteilung der Inkrementalsignale und das Zuführen der interpolierten Signale an einen Zähler. Am Ausgang der Einheit 32 resultiert demzufolge ein hochauflösendes Signal S_1 , bzgl. der jeweiligen Inkrementalposition. In Figur 7a ist der zeitliche Verlauf des entsprechenden Signals im Fall einer gleichmäßigen Bewegung des Maßstabes relativ zur Abtasteinheit dargestellt. In der Darstellung der Figur 7a ist aufgrund der nur geringen resultierenden Störung der Abtastsignale durch die Referenzmarkierung diese Störung nicht erkennbar, d.h. gemäß der Darstellung in Figur 7a resultiert eine lineare Zunahme der Inkrementalposition (Ordinate; y-Achse) mit der Zeit (Abszisse; x-Achse).

Das Signal S_1 wird anschließend in einem ersten Verarbeitungszweig einem Filter 33 zugeführt, das als Bandpassfilter ausgebildet ist, welches die Frequenzanteile der Inkrementalsignale aus dem Signal S_1 herausfiltert. Das Filter 33 sperrt demzufolge im Frequenzbereich der Inkrementalsignalfrequenz f_{INC} . Ein entsprechendes, gefiltertes Signal S_2 , das dann im wesentlichen auf den Einfluss der mittleren Referenzimpuls-Signalperiode $SP_{REF,m}$ zurückzuführen ist, ist in Figur 7b dargestellt.

Informationen bzgl. der Amplitude bzw. der Phase des gefilterten Signals S_2 werden anschließend in Form der beiden Signale S_3 bzw. S_4 weiterverarbeitet. Die Signale S_3 bzw. S_4 sind wiederum in den Figuren 7c und 7d dargestellt.

Das Signal S3 bzgl. der Referenzimpulssignal-Amplitude wird daraufhin einem Maximumdetektor 41 zugeführt, über welches das Amplitudenmaximum des Signales S3 ermittelt wird. Das derart bestimmte Amplitudenmaximum markiert die Grob-Referenzposition $x_{REF,G}$, d.h. am Ausgang des Maximumdetektors 41 liegen Informationen bzw. ein Signal S5 bzgl. einer Grob-Referenzposition $x_{REF,G}$ vor, das nachfolgend weiterverarbeitet wird. Der Maximumdetektor 41 repräsentiert in der obigen Terminologie im übrigen die ersten Auswertemittel, die in der Figur als Funktionsblock mit dem Bezugszeichen 40 bezeichnet sind.

10

Das am Ausgang der Interpolator- und Zählereinheit 32 resultierende Signal S1 wird als Signal bzgl. der Inkrementalsignalphase desweiteren auch einem Funktionsblock mit dem Bezugszeichen 50 zugeführt, der i.w. die oben erwähnten zweiten Auswertemittel darstellt. Des Weiteren wird den zweiten Auswertemitteln 50 das am Ausgang des Filters 32 anliegende Signal S4 bzgl. der Referenzimpulssignal-Phase zugeführt. Auf Seiten der zweiten Auswertemittel 50 erfolgt eingangsseitig über die Multiplikatoreinheiten 51 und 52 zunächst die Multiplikation der jeweiligen Eingangssignale mit den ganzzahligen Faktoren N_{RI} bzw. N_{INC} . Am Ausgang der Multiplikatoreinheiten 51, 52 liegen demzufolge jeweils Signale S6, S7 bzgl. ganzzahliger Vielfacher der Referenzimpulssignal-Phase bzw. der Inkrementalsignal-Phase vor. Die Signale S6, S7 werden auf Seiten der zweiten Auswertemittel 50 schließlich den Eingängen einer Differenzbildungseinheit 53 zugeführt. Nach der erfolgten Differenzbildung liegt am Ausgang der Differenzbildungseinheit 53 und damit am Ausgang der zweiten Auswertemittel 50 ein Signal S8 bzgl. einer Schwebungssignal-Phase φ_S vor.

Die an den Ausgängen der ersten und zweiten Auswertemittel 40, 50 resultierenden Signale S5, S8 bzgl. der Grob-Referenzposition $x_{REF,G}$ und bzgl. der Schwebungssignal-Phase φ_S werden nachfolgend einem Funktionsblock mit dem Bezugszeichen 60 zugeführt, der i.w. die ebenfalls bereits oben erwähnten dritten Auswertemittel darstellt.

30

Die dritten Auswertemittel umfassen hierbei eine Differenzbildungseinheit 62, über die eine Subtraktion eines festen, wählbaren Phasen-Sollwertes φ_{Soll} von der Schwebungssignalphase φ_{S} bzw. dem Signal S8 erfolgt. Es resultiert am Ausgang der Differenzbildungseinheit 62 ein Signal S10 bzgl. einer Schwebungssignalphasendifferenz. Das Signal S10 bzgl. der Schwebungssignalphasendifferenz weist den typischen sägezahnartigen Signalverlauf von Phasensignalen auf - ähnlich Figur 7e - und besitzt Nullstellen im Abstand der Schwebungsperiode.

- 10 Das Signal S10 wird ebenso wie das Signal S5 bzgl. der Grob-Referenzposition $x_{\text{REF,G}}$ einem Auswahlmittel 61 zugeführt, das ebenfalls noch Bestandteil der dritten Auswertemittel 60 ist. Über die Auswahlmittel 61 wird derjenige Nulldurchgang der Schwebungssignalphasendifferenz S10 bestimmt, der innerhalb der gleichen Schwebungsperiode liegt wie die Grob-Referenzposition $x_{\text{REF,G}}$. Der derart ausgewählte Nulldurchgang wird als Signal S11 ausgegeben und definiert die Fein-Referenzposition $x_{\text{REF,F}}$.

- Über das am Ausgang der dritten Auswertemittel 60 im Fall einer vorliegenden Fein-Referenzposition $x_{\text{REF,F}}$ ausgegebene Signal S11 wird anschließend ein nachgeordneter Speicher 34 angesprochen. Diesem Speicher 34 wird parallel zum Signal S11 laufend der Wert des Signales S1 zugeführt, d.h. die hochaufgelöste Positionsinformation, die am Ausgang der Interpolator- und Zählereinheit 32 verfügbar ist. Diese Positionsinformation, also S1, wird gesteuert vom Signal S11 bei Vorliegen der Fein-Referenzposition $x_{\text{REF,F}}$ in den Speicher 34 geschrieben. Nachfolgend sei diese Positionsinformation als Referenzimpuls-Offset bezeichnet.

- Derart wird also die Bestimmung einer Referenzimpulsinformation mit der gleichen Auflösung wie die Inkrementalmessung vorgenommen. Am Ausgang des Speichers 34 liegt demzufolge ein Signal S12 vor, das die Information bzgl. der Fein-Referenzposition $x_{\text{REF,F}}$ mit der gewünschten hohen Auflösung enthält.

In Bezug auf die konkrete Verwertung dieser Information bzw. dieses Signales S12 gibt es verschiedene Möglichkeiten, die in Verbindung mit der Verarbeitung von Referenzimpulsinformationen grundsätzlich bekannt sind und deshalb in der Darstellung der Figur 6 nur in schematischer Form angedeutet sind. So ist es einerseits möglich, über die angedeuteten Ausgabemittel 35 den ermittelten Referenzimpuls-Offset unmittelbar zur Weiterverarbeitung auszugeben. Alternativ können ebenfalls nur schematisch angedeutete Mittel 36 zum Subtrahieren des ermittelten Referenzimpuls-Offsets von der Inkrementalposition vorgesehen sein.

10

Neben der bislang erläuterten Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung selbstverständlich auch alternative Ausführungsformen realisierbar. Insbesondere hinsichtlich des genutzten Abtastrahlenganges zur Erzeugung der Abtastsignale sind hierbei verschiedene Varianten einsetzbar.

So könnte das Referenzmarkierungsfeld auf dem Maßstab auch anders ausgebildet werden, als dies etwa im obigen Beispiel erläutert wurde. Insbesondere kann etwa vorgesehen werden, dass im Referenzmarkierungsfeld neben der Inkrementalteilungsperiode TPM_{INC} nicht nur eine einzelne weitere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ enthalten ist, sondern vielmehr ein Spektrum weiterer Referenzmarkierungs-Teilungsperioden $TPM_{REF,i}$, die sich um die mittlere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ ortsabhängig verteilen. Entsprechend kann in einem derartigen Fall auch die Abtastplatte bzw. die entsprechenden Abtastteilungen ausgebildet sein. Diese umfasst dann ebenfalls ein Spektrum von Referenzabtastgitter-Teilungsperiode $TPAG_{REF,i}$, die sich um eine mittlere Referenzabtastgitter-Teilungsperiode $TPAG_{REF,m}$ verteilen und entsprechend auf die Referenzmarkierungs-Teilungsperiode $TPM_{REF,m}$ abgestimmt sind. Eine derartige Ausbildung des Referenzmarkierungsfeldes kann beispielsweise erfolgen, indem die jeweiligen Teilungsstrukturen im Referenzmarkierungsfeld wie auch im Referenzabtastgitter als sog. gechirpte Teilungsstrukturen ausgebildet sind, innerhalb der sich die jeweiligen Teilungsperioden entlang der Messrichtung x stetig und kontinuierlich ändern. Das Verhältnis V der Fre-

quenzbreite Δf des Spektrums vorhandener Gitterfrequenzen zur mittleren Referenzmarkierungs-Frequenz $f_{\text{REF},m} = 1/\text{TPM}_{\text{REF},m}$ bestimmt hierbei die Breite der Störung des resultierenden Abtastsignales. Vorteilhafterweise liegt dieses Verhältnis $V = \Delta f / f_{\text{REF},m}$ im Bereich zwischen 0.001 und 0.5

5

Des Weiteren wäre es möglich, die Abtastplatte als Fresnellinse auszubilden, die die Teilungsstruktur des Maßstabs vorteilhafterweise zurück auf den Maßstab abbildet. Eine derartige Fresnellinse kann sowohl symmetrisch (on-axis) als auch asymmetrisch (off-axis) zur optischen Achse des Abtaststrahlenganges angeordnet werden.

10

Ferner ist es möglich, im Fall einer Maßstabausbildung gemäß Figur 2 auf der Abtastseite respektive auf der Abtastplatte nur eine einzige Abtastteilung vorzusehen, d.h. keine räumlich getrennten Teilbereiche vorzusehen, die jeweils als Inkremental-Abtastgitter und Referenz-Abtastgitter fungieren, sondern die jeweils erforderlichen Ablenkwirkungen mittels einer einzigen Abtastteilung zu realisieren. Zu diesem Zweck sind dann in der entsprechenden Abtastteilung zumindest die erforderliche Referenzabtastgitter-Teilungsperiode TPAG_{REF} und die Inkremental-Teilungsperiode TPAG_{INC} enthalten, die dann eine Umlenkung der aus den verschiedenen Raumrichtungen einfallenden Strahlenbündel in Richtung des Maßstabes bewirken. Diese abtastseitige Ausführungsvariante erweist sich insbesondere dann als sinnvoll, wenn die Abtastplatte sehr nahe am Maßstab angeordnet ist und demzufolge noch keine vollständige räumliche Trennung der aufgespalteten Teilstrahlenbündel aus dem Referenzmarkierungsfeld vorliegt, wie dies etwa im erläuterten Beispiel in Figur 1 der Fall war.

15

20

25

Daneben existieren für den Fachmann selbstverständlich weitere Ausführungsvarianten der vorliegenden Erfindung.

30

Ansprüche

=====

1. Positionsmesseinrichtung, bestehend aus einem Maßstab (10) und einer relativ dazu beweglichen Abtasteinheit (20), wobei
 - der Maßstab (10) eine Inkrementalteilungsspur mit einer definierten Inkremental-Teilungsperiode (TPM_{INC}) und an mindestens einer definierten Referenzposition (x_{REF}) ein Referenzmarkierungsfeld (M_{REF}) mit einer mittleren Referenzmarkierungs-Teilungsperiode ($TPM_{REF,m}$) aufweist, wobei sich die mittlere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode ($TPM_{REF,m}$) von der Inkremental-Teilungsperiode (TPM_{INC}) unterscheidet,
 - die Abtasteinheit mehrere Abtastelemente zur Erzeugung von Abtastsignalen (A, B, C) aufweist, wobei als Abtastsignale (A, B, C) zumindest zwei phasenverschobene Inkrementalsignale (S_0 , S_{90}) erzeugbar sind,
- dadurch gekennzeichnet, dass
 - der Abtasteinheit (20) erste Auswertemittel (40) nachgeordnet sind, die geeignet sind zur Bestimmung einer Grob-Referenzposition ($x_{REF,G}$) aus dem Maximum der resultierenden Störung in den Abtastsignalen bei einer definierten Relativposition von Maßstab (10) und Abtasteinheit (20) und
 - der Abtasteinheit (20) zweite Auswertemittel (50) nachgeordnet sind, die geeignet sind zur Bestimmung einer Schwebungssignal-Phase aus der Differenz eines ganzzahligen Vielfachen der Referenzimpulssignal-Phase und einem ganzzahligen Vielfachen der Inkrementalsignal-Phase und

- 5 - den ersten und zweiten Auswertemitteln (40, 50) dritte Auswertemittel (60) nachgeordnet sind, die geeignet sind, um aus der Grob-Referenzposition ($x_{REF,G}$) eine Schwebungssignalperiode eindeutig zu markieren und aus der Schwebungssignal-Phase bei Vorliegen einer definierten Phasenlage eine Fein-Referenzposition ($x_{REF,F}$) auszugeben.
- 10 2. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Maßstab (10) und die Abtasteinheit (20) dergestalt ausgebildet sind, dass als Abtastsignale (A, B, C) lediglich zwei oder mehr phasenverschobene Inkrementalsignale (S_0 , S_{90}) resultieren, die am Ort der Referenzposition (x_{REF}) eine Störung aufweisen.
- 15 3. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass vor den ersten Auswertemitteln (40) ein Filter (33) angeordnet ist, dem die Inkrementalsignale (S_0 , S_{90}) zuführbar sind und über welches ein Eliminieren des Frequenzanteiles (f_{INC}) der Inkrementalsignale (S_0 , S_{90}) aus den Abtastsignalen erfolgt.
- 20 4. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Filter (33) als Bandpassfilter ausgebildet ist, das im Bereich der Inkrementalsignalfrequenz (f_{INC}) sperrt.
- 25 5. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Auswertemittel (40) Mittel (41) zum Bestimmen des Amplitudenmaximums des Signales (S_3) am Ausgang des Filters (33) umfassen, so dass am Ausgang der ersten Auswertemittel (40) ein Signal (S_5) bzgl. einer Grob-Referenzposition ($x_{REF,G}$) vorliegen.
- 30 6. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Auswertemittel (50)
- zwei Multiplikatoreinheiten (51, 52) umfassen, über welche die Multiplikation der Eingangssignale bzgl. der Referenzimpulssignalphase (S_4) und der Inkrementalsignalphase (S_1) mit ganzzahligen Faktoren (N_{RI} , N_{INC}) erfolgt und

- ferner eine Differenzbildungseinheit (53) umfasst, der die Ausgangssignale der Multiplikatoreinheiten (51, 52) zuführbar sind.

- 5 7. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die dritten Auswertemittel (60)
- eine Differenzbildungseinheit (62) umfassen, über die eine Subtraktion eines festen, wählbaren Phasen-Sollwertes (φ_{Soll}) von der Schwebungssignalphase (S8) erfolgt und
 - ferner Auswahlmittel (61) umfassen, über welche derjenige
- 10 Nulldurchgang der Schwebungssignalphasendifferenz (S10) bestimmbar ist, der innerhalb der gleichen Schwebungsperiode liegt wie die Grob-Referenzposition ($x_{\text{REF,G}}$), so dass ein derart ausgewählter Nulldurchgang als Signal (S11) bzgl. der Fein-Referenzposition ($x_{\text{REF,F}}$) ausgebbar ist.
- 15 8. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass ferner ein den dritten Auswertemitteln (60) nachgeordneter Speicher (34) für einen Inkrementalzähler-Offset vorgesehen ist, der die aktuelle Inkrementalposition bei Vorliegen der Fein-Referenzposition
- 20 ($x_{\text{REF,F}}$) speichert.
9. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Ausgabemittel (35) zur Ausgabe des Inkrementalzähler-Offsets vorgesehen sind.
- 25 10. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel (36) zum Subtrahieren des Inkrementalzähler-Offsets von der Inkrementalposition vorgesehen sind.
- 30 11. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 - 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzmarkierungsfeld (M_{REF}) auf dem Maßstab in die Inkrementalteilungsspur integriert ist.

12. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 -
10, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzmarkierungsfeld (M_{REF})
eine Teilungsstruktur dergestalt aufweist, dass darin neben der Referenzmarkierungs-Teilungsperiode (TPM_{REF}) ferner auch die Inkremental-Teilungsperiode (TPM_{INC}) enthalten ist, so dass im Bereich des Referenzmarkierungsfeldes (M_{REF}) mindestens zwei unterschiedliche räumliche Ablenkrichtungen (+RR1, +RR2; -RR1, -RR2) für darauf einfallende Strahlenbündel (S) resultieren.
13. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 -
10, dadurch gekennzeichnet, dass im Referenzmarkierungsfeld (M_{REF}) ein Spektrum von mehreren Referenzmarkierungs-Teilungsperioden (TPM_{REF}) enthalten ist, die sich um die mittlere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode ($TPM_{REF,m}$) verteilen.
14. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im Referenzmarkierungsfeld das Verhältnis aus Frequenzbreite zu mittlerer Referenzmarkierungsfrequenz im Bereich [0.001 ... 0.5] gewählt ist.
15. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 -
10, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Referenzmarkierungs-Teilungsperiode ($TPM_{REF,m}$) geringfügig unterschiedlich von der doppelten Inkremental-Teilungsperiode (TPM_{INC}) gewählt ist.
16. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 11 -
15, dadurch gekennzeichnet, dass der Maßstab (10) als Reflexions-Phasengitter ausgebildet ist.
17. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 -
10, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtasteinheit eine Lichtquelle (21), eine Abtastplatte (22) mit ein oder mehreren Abtastteilungen sowie eine optoelektronische Detektoranordnung (23) umfasst.

18. Positionsmesseinrichtung nach den Ansprüchen 12 und 17, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Abtastteilung eine Teilungsstruktur dergestalt aufweist, dass die aus Richtung des Referenzmarkierungsfeldes (REF) in unterschiedlichen Ablenkrichtungen (+RR1, +RR2; -RR1, -RR2) einfallenden Teilstrahlenbündel (INC_{+1} , REF_{+1} ; INC_{-1} , REF_{-1}) wieder eine Umlenkung in Richtung des Referenzmarkierungsfeldes (M_{REF}) auf dem Maßstab (10) erfahren.
19. Positionsmesseinrichtung nach den Ansprüchen 12 und 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastplatte (22) räumlich getrennte Teilbereiche von Abtastteilungen mit Inkrementalabtastgittern (AG_{INC}) und Referenzabtastgittern (AG_{REF}) aufweist.
20. Positionsmesseinrichtung nach den Ansprüchen 12 und 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastplatte (122) eine einzige Abtastteilung aufweist, die eine Umlenkung der aus unterschiedlichen Richtungen einfallenden Strahlenbündel in Richtung des Referenzmarkierungsfeldes auf dem Maßstab bewirkt.
21. Positionsmesseinrichtung nach den Ansprüchen 13 und 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastplatte ein oder mehrere Abtastteilungen mit einem Spektrum von Abtast-Teilungsperioden umfasst, das auf das Spektrum von mehreren Referenzmarkierungs-Teilungsperioden auf dem Maßstab abgestimmt ist.
22. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzmarkierungsfeld und die Abtastteilungen jeweils als gechirpte Teilungsstruktur ausgebildet sind, innerhalb der sich die Teilungsperioden stetig und kontinuierlich verändern.
23. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe des Referenzmarkierungsfeldes (M_{REF}) der Größe des Querschnitts des von der Lichtquelle (21) emittierten Strahlenbündels (S) entspricht.

24. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 17 - 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastplatte (22) als Durchlicht-Phasengitter ausgebildet ist.

- 5 25. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtasteinheit ferner ein Umlenkprisma umfasst und die verschiedenen Elemente der Abtasteinheit derart angeordnet sind, dass
- 10 - die von der Lichtquelle emittierten Strahlenbündel zunächst auf den Maßstab auftreffen, wo eine Beugung zurück in Richtung der Abtasteinheit erfolgt,
- 15 - die zurückgebeugten Lichtbündel in der Abtasteinheit ein erstes Mal die Abtastplatte durchlaufen und in sich Richtung des Umlenkprismas ausbreiten,
- 20 - über das Umlenkprisma eine Umlenkung in Richtung der Abtastplatte erfolgt, die anschließend ein zweites Mal durchlaufen wird,
- 25 - die Lichtbündel anschließend ein zweites Mal auf den Maßstab auftreffen und von diesem eine Beugung in Richtung der Detektoranordnung erfolgt.

FIG. 1

1/6

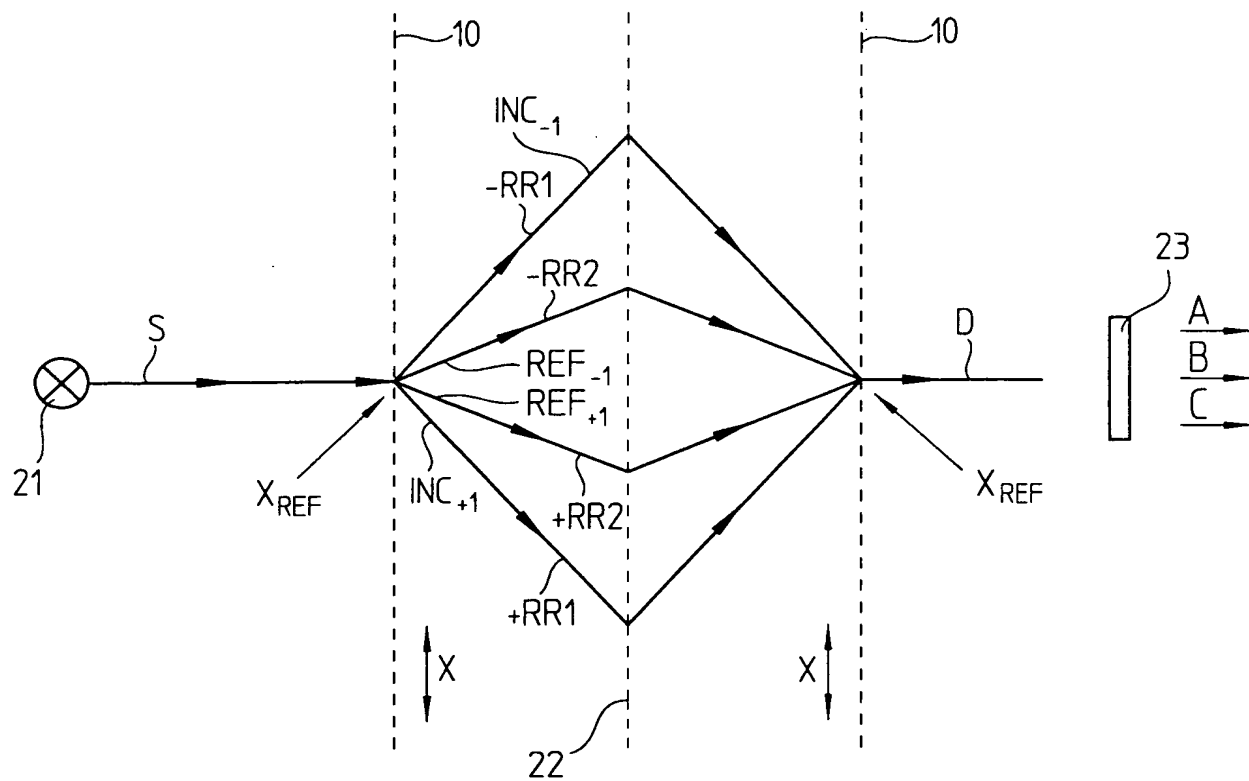


FIG. 2

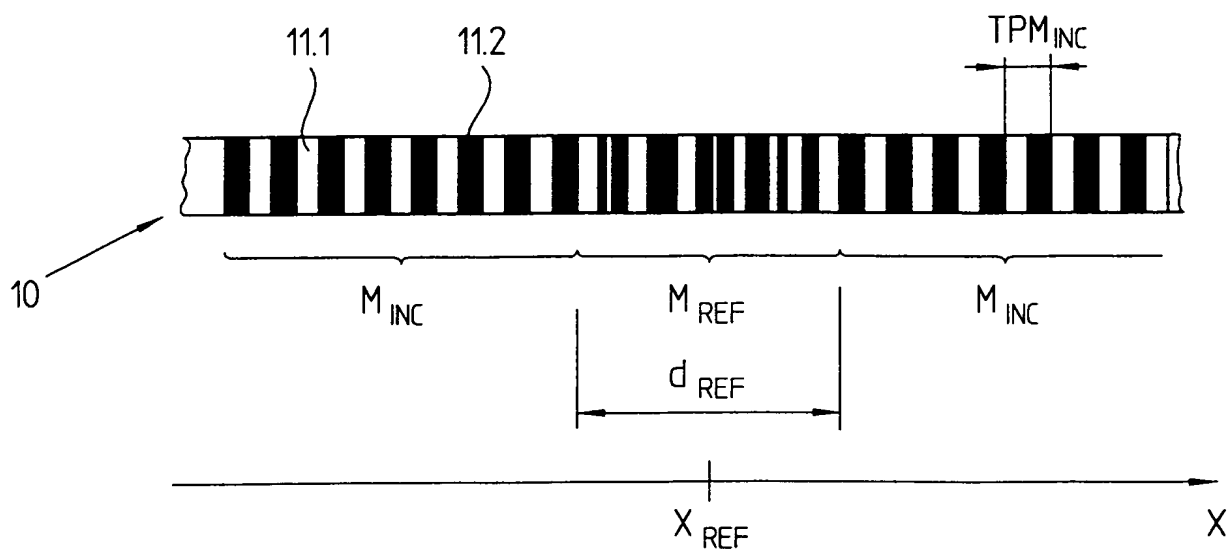


FIG. 3a

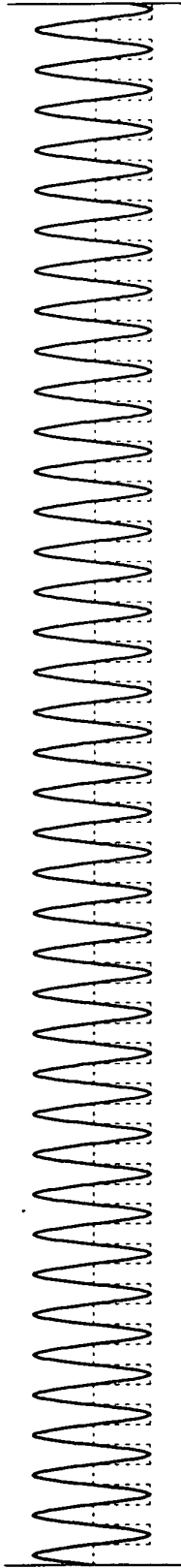


FIG. 3b

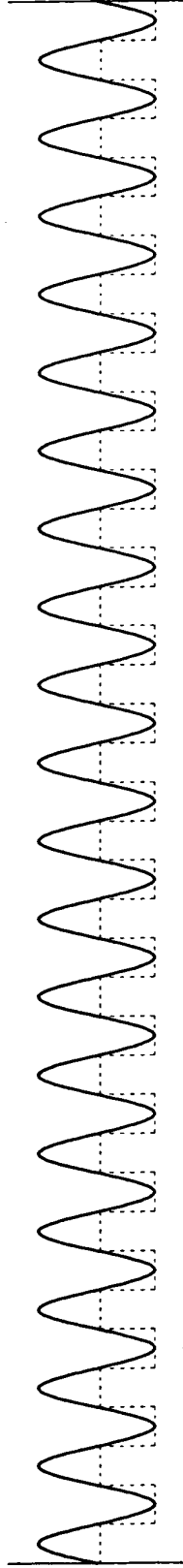


FIG. 3c

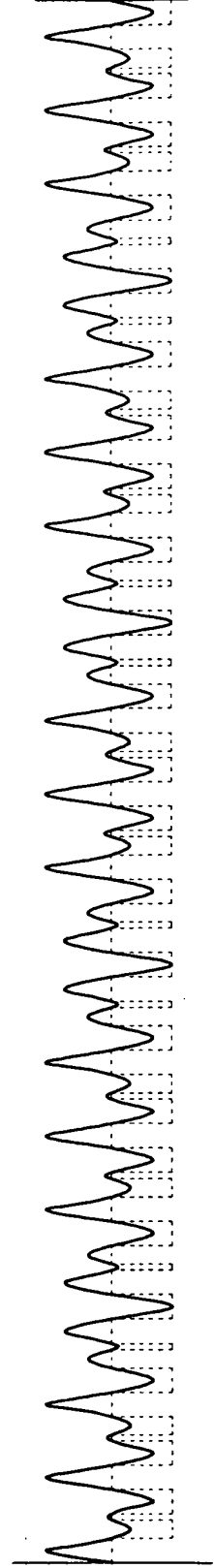


FIG. 4

3/6

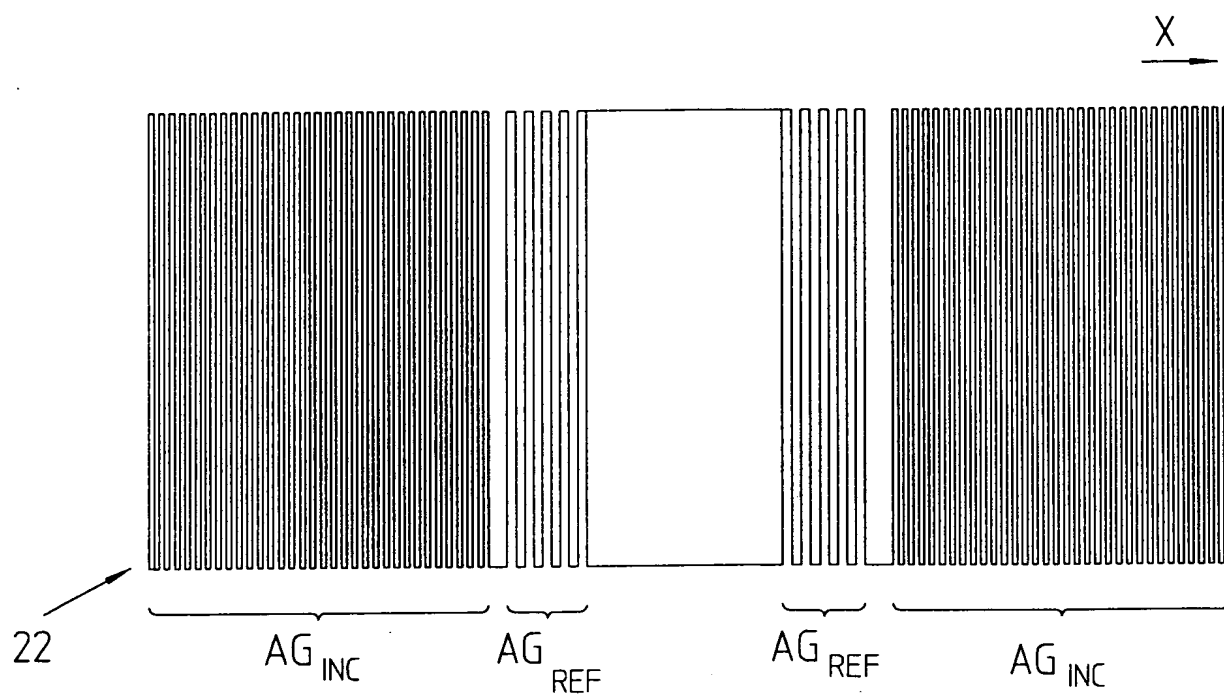


FIG. 5

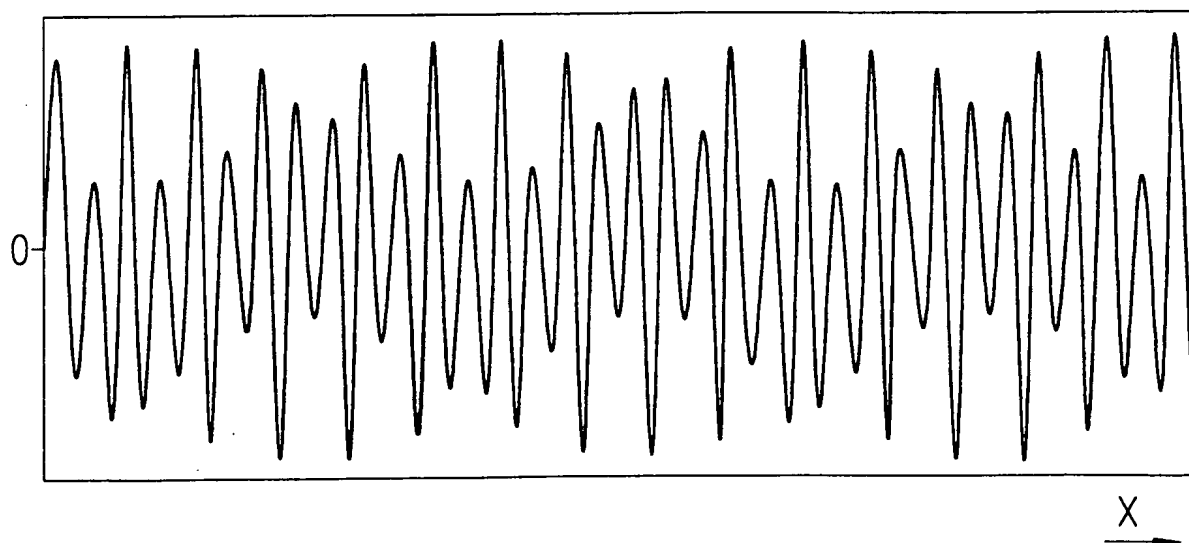


FIG. 6

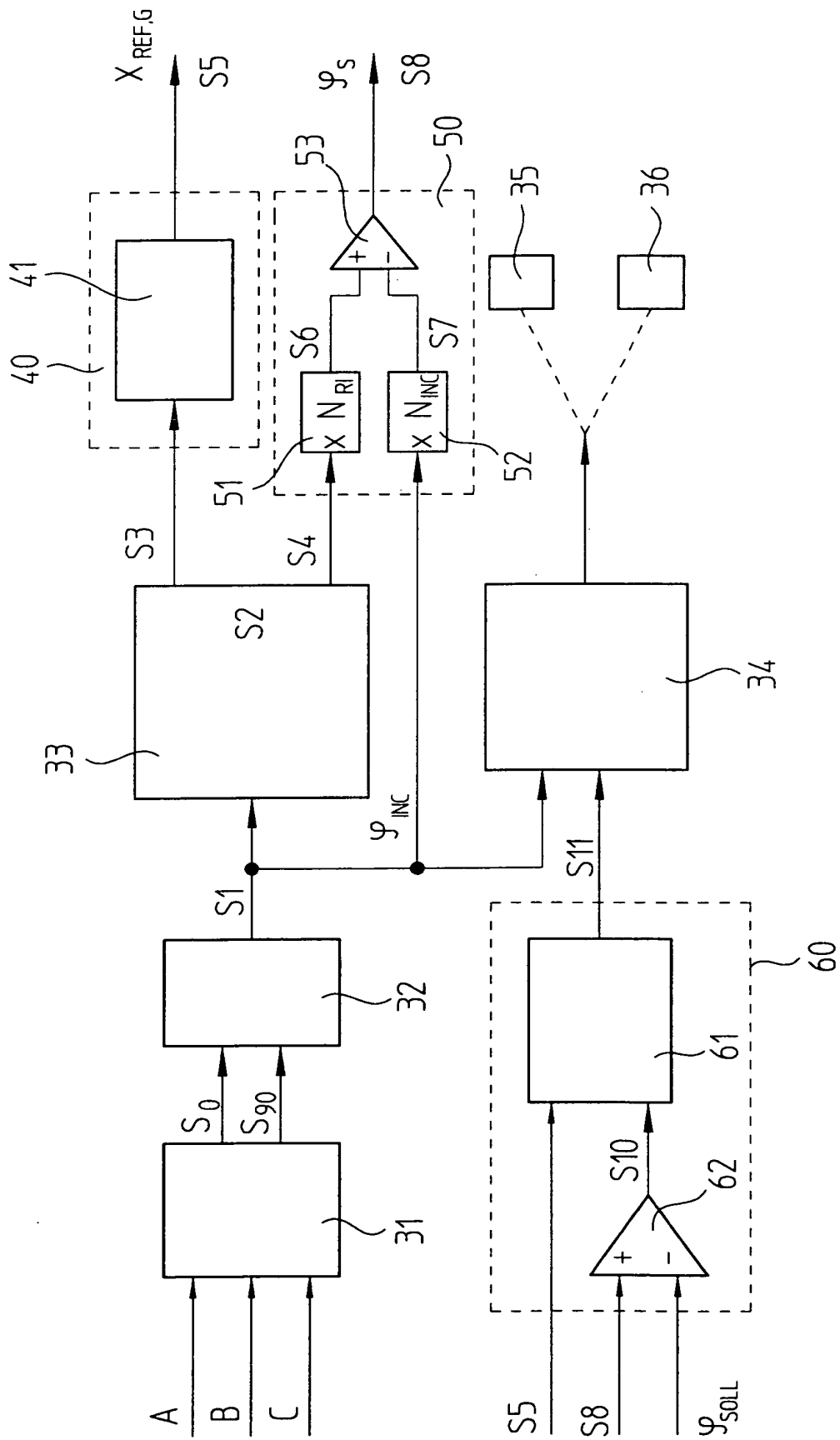


FIG. 7a

5/6

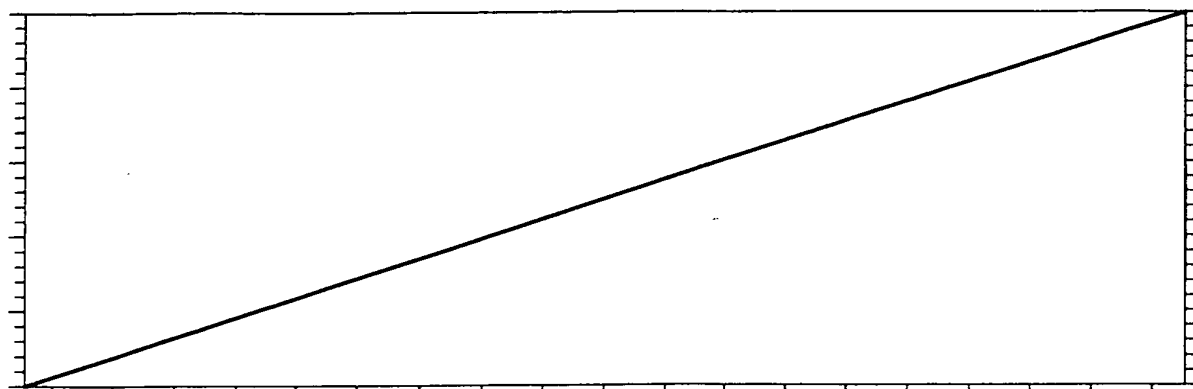


FIG. 7b

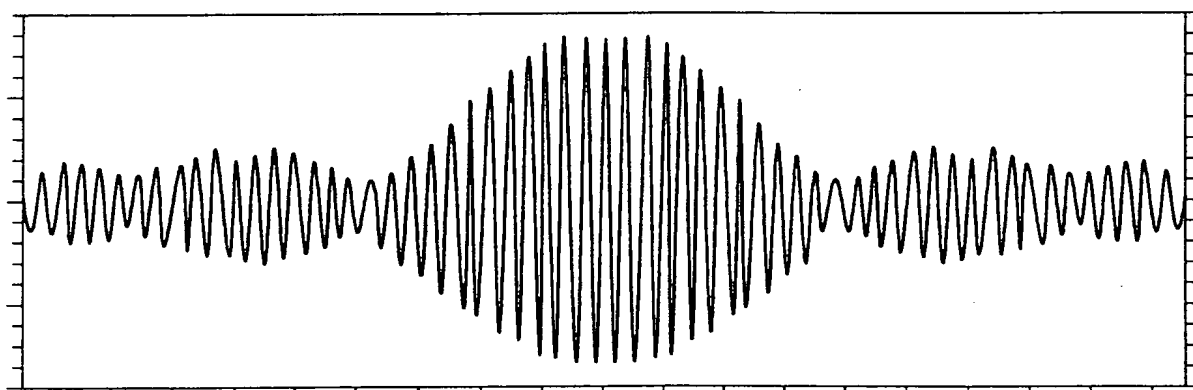


FIG. 7c

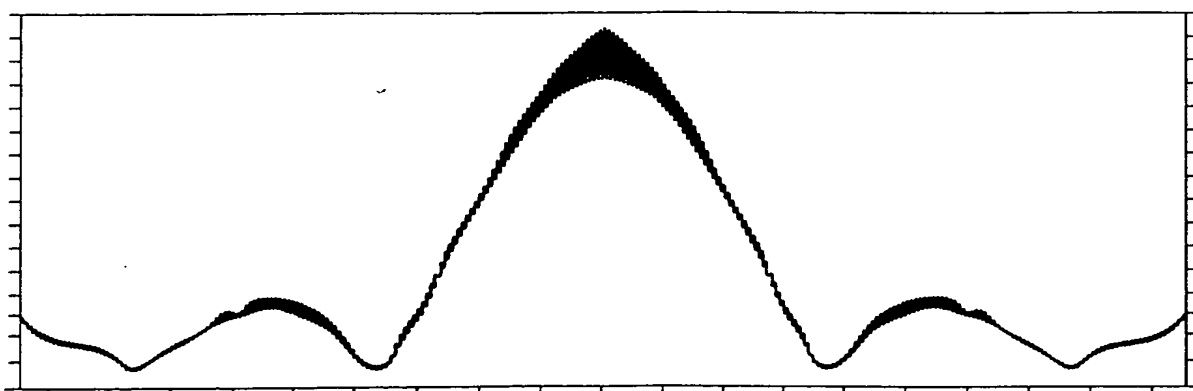


FIG. 7d

6/6

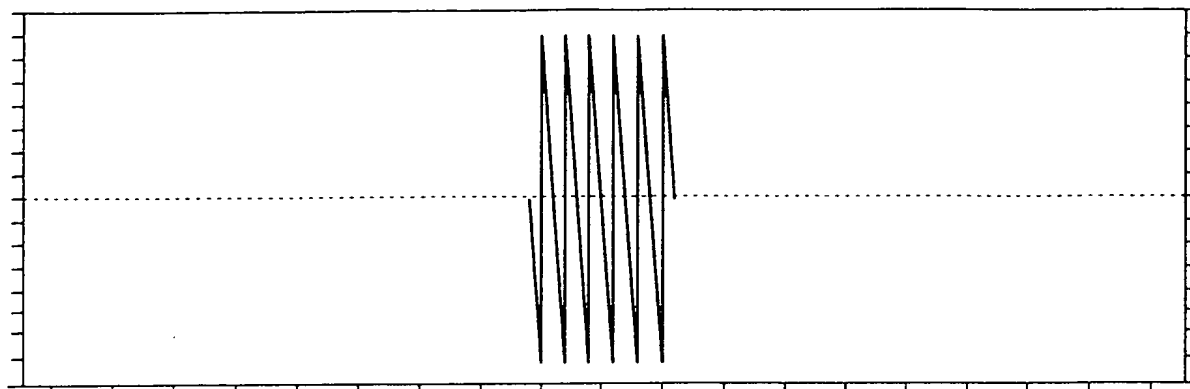


FIG. 7e

